



NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN GIẢI PHÁP CHỈNH ĐỊNH TỐI ƯU THÔNG SỐ PID TỪ THUẬT TOÁN PSO DÙNG CHO CÁC HỆ THỐNG CÔNG NGHIỆP

Research selection of optional pid parameter optimazation solution by PSO for industrial systems

Huỳnh Đức Chấn¹, Đào Hồng Phong², Nguyễn Ngọc Tuấn³

¹huynhducchan@gmail.com

^{1,2}Khoa Cơ Điện - Điện Tử, Trường Đại học Lạc Hồng, Đông Nai, Việt Nam

³Khoa Cơ Điện Tử, Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật, TPHCM, Việt Nam

Đến tòa soạn: 08/06/2017; Chấp nhận đăng: 14/06/2017

Tóm tắt. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu lựa chọn giải pháp chỉnh định tối ưu thông số của bộ PID bằng việc ứng dụng các giải thuật di truyền (Genetic Algorithms - GA) và bầy đàn (Particle Swarm Optimization - PSO) cho các hệ thống truyền động công nghiệp với động cơ không đồng bộ 3 pha. Bài báo đã xây dựng các mô hình quán tính bậc nhất có thời gian trễ (FOPDT), mô hình quán tính bậc hai có thời gian trễ (SOPDT) mô hình tích phân bậc hai có thời gian trễ (SOIPDT), mô hình bậc nhất không ổn định có trễ (FODUP), và mô phỏng bằng công cụ Simulink/Matlab. Kết quả mô phỏng so sánh đáp ứng bộ điều khiển cho thấy giải thuật kết hợp PID - GA và PID - PSO tốt hơn hẳn phương pháp truyền thống. Kết quả cũng cho phép chọn giải thuật tối ưu nhất - kết hợp PSO-PID để thiết kế bộ điều khiển có đáp ứng tốc độ của động cơ nhanh, độ vọt lố thấp và thời gian xác lập nhỏ nhất khi động cơ hoạt động không tải hoặc có tải.

Từ khóa: Thuật toán bầy đàn (PSO); Thuật toán di truyền (GA); Động cơ ba pha; Tối ưu hóa

Abstract. This article presents the results of a study on selecting optimal PID parameters tuned by Genetic Algorithms (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO) used for Industrial three-phase asynchronous motors. The paper has developed First order delayed unstable process (FOPDT), Second order plus dead time (SOPDT), Second order integrating plus dead time (SOIPDT), First order delayed unstable process (FODUP) and simulated with the Simulink / Matlab tool. The simulating controller response results show that the PID - GA and PID - PSO combination algorithms are superior to traditional methods. The result also allows for the selection of the optimal algorithm - combining the PSO - PID to design a controller that responds to fast motor speeds, low spikes and minimal set-up time when the motor is running with load or no load.

Keywords: Particle Swarm Optimazation; Genetic Algorithms; Induction motor; Optimal

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay bộ điều khiển PID (Proportional-Integral-Derivative controller) được ứng dụng rất phổ biến trong các hệ thống công nghiệp, do khả năng điều khiển hiệu quả, tính đơn giản trong thiết kế và phạm vi ứng dụng rộng, có rất nhiều phương pháp để hiệu chỉnh thông số của bộ điều khiển PID, phổ biến nhất là phương pháp Ziegler-Nichols. Tuy nhiên đối với một số hệ thống việc hiệu chỉnh bộ điều khiển PID bằng phương pháp này đòi hỏi một quá trình thực nghiệm khá mất thời gian do ảnh hưởng của nhiễu và sai số của các thiết bị lên tín hiệu đo dẫn đến việc hiệu chỉnh thông số của bộ điều khiển PID khó đạt được giá trị tốt. Trong trường hợp này các phương pháp hiệu chỉnh PID kết hợp với mạng nơron, thuật toán di truyền (GA- PID) [1] hoặc thuật toán bầy đàn (PSO-PID: Particle swarm optimization) [2] là phương pháp điều khiển tối ưu.

Trong bài báo này nhóm tác giả sử dụng giải thuật tối ưu bầy đàn và di truyền cho bộ PID trong một số hệ thống công nghiệp [3], [4] và điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha. Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển PSO-PID [2] có đáp ứng nhanh, độ vọt lố thấp và thời gian xác lập nhỏ hơn bộ điều khiển GA-PID [4].

2. NỘI DUNG KỸ THUẬT

2.1 Đối tượng điều khiển

Đối tượng điều khiển được chọn trong bài báo này là một số mô hình trong công nghiệp có hàm truyền từ (1) đến (4) được ứng dụng trong các thí nghiệm cho các vòng điều khiển áp xuất, dòng chảy và lưu lượng nước trong hệ bồn nước công nghiệp ở tài liệu [4] chương 9 và các hệ thống điều khiển lò hơi, điều khiển nhiệt độ...

Mô hình quán tính bậc nhất có thời gian trễ (FOPDT)

$$G_p(s) = \frac{K \exp(-L_p s)}{(T_p s + 1)} \quad (1)$$

Mô hình quán tính bậc hai có thời gian trễ (SOPDT)

$$G_p(s) = \frac{K \exp(-L_p s)}{(T_p s + 1)^2} \quad (2)$$

Mô hình quán tính bậc hai có trễ cộng thêm thành phần tích phân (SOIPDT)

$$G_p(s) = \frac{K \exp(-L_p s)}{s(T_p s + 1)} \quad (3)$$

Mô hình bậc nhất không ổn định có trễ (FODUP)

$$G_p(s) = \frac{K \exp(-L_p s)}{(T_p s - 1)} \quad (4)$$

2.2 Tổng quan về giải thuật bầy đàn (PSO)

PSO là một kỹ thuật tối ưu hóa ngẫu nhiên dựa trên một quần thể và sau đó tìm nghiệm tối ưu bằng cách cập nhật các thể hệ, được phát triển bởi Dr.Eberhart và Dr.Kennedy (1995) phỏng theo hành vi của các bầy chim hay các đàn cá trong quá trình tìm kiếm thức ăn [2], [5]. Mỗi cá thể trong quần thể cập nhật vị trí của nó theo vị trí tốt nhất của nó và

của cá thể trong quần thể tính tới thời điểm hiện tại [5]. Quá trình cập nhật các phần tử dựa trên các công thức sau:

$$v_{i,m}^{(t+1)} = w \cdot v_{i,m}^{(t)} + c_1 * rand() * (Pbest_{i,m}) - x_{i,m}^{(t)} + c_2 * Rand() * (Gbest_{i,m} - x_{i,m}^{(t)}) \quad (5)$$

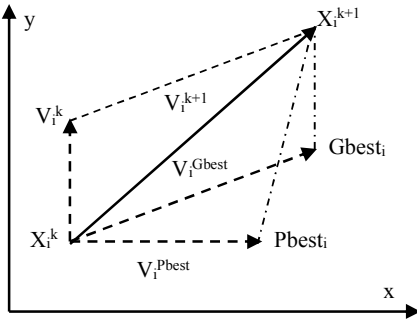
$$x_{i,m}^{(t+1)} = x_{i,m}^{(t)} + v_{i,m}^{(t+1)}; i = 1, 2, \dots, n; m = 1, 2, \dots, d \quad (6)$$

Trong đó:

n : Số lượng bầy đàn; d : Kích thước quần thể (dimension); t : Số lần lặp lại; $v_{i,m}^{(t)}$: Vận tốc của phần tử thứ i ở lần lặp lại thứ t ; w : Hệ số trọng lượng quán tính; c_1, c_2 : Hệ số gia tốc; $Rand()$: Là một số ngẫu nhiên trong khoảng $(0,1)$; $x_{i,m}^{(t)}$: Vị trí của phần tử thứ i ở lần lặp lại thứ t .

Khái niệm về sự thay đổi những điểm tìm kiếm của giải thuật PSO được biểu diễn ở Hình 1.

Với: X_i^k : Vị trí hiện tại; X_i^{k+1} : Vị trí đã được thay đổi; V_i^k : Vận tốc hiện tại; V_i^{k+1} : Vận tốc đã được thay đổi; P_{best_i} : Vị trí tốt nhất của cá thể thứ i ; G_{best} : Phần tử tốt nhất của cá thể thứ i trong quần thể; V_i^{Pbest} : Vận tốc theo P_{best} ; V_i^{Gbest} : Vận tốc theo G_{best}



Hình 1. Khái niệm về sự thay đổi điểm tìm kiếm của PSO

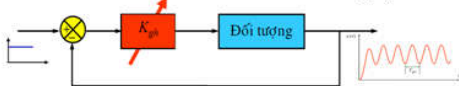
2.3 Tổng quan về thuật toán di truyền (GA)

Thuật toán di truyền (Genetic Algorithm- GA) được Holland đưa vào năm 1975 là giải thuật tìm kiếm lời giải tối ưu trên nguyên tắc phỏng theo quá trình tiến hóa và quy luật di truyền của sinh vật trong tự nhiên. Bản chất toán học của GA là thuật giải tìm kiếm theo xác suất [1].

Mục tiêu của GA không nhằm đưa ra lời giải chính xác tối ưu mà là đưa ra lời giải tương đối tối ưu. Một cá thể trong GA sẽ biểu diễn một giải pháp của bài toán

2.4 Điều chỉnh bộ điều khiển PID theo phương pháp Ziegler Nichols

Phương pháp thực nghiệm Ziegler - Nichols để xác định tham số bộ điều khiển PID như sau: [2]



Hình 2. Sơ đồ khối của hệ kín có bộ tỉ lệ P

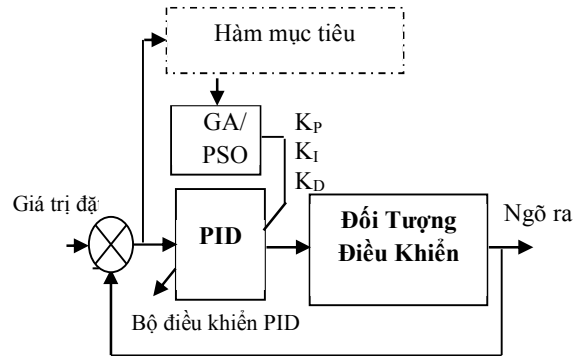
Phương pháp này thay bộ điều khiển PID trong hệ kín bằng bộ khuếch đại sau đó tăng K cho đến khi hệ nằm ở biên giới ổn định. Lúc này ta có K_{gh} và T_{gh} . Tham số cho bộ điều khiển PID chọn như sau:

PI: $K_p = 0.45 * K_{gh}$, $T_I = T_{gh} / 1.2$
 PID: $K_p = 0.6 * K_{gh}$, $T_I = T_{gh} / 2$, $T_D = T_{gh} / 8$
 Với $K_I = K_p / T_I$ và $K_D = K_p * T_D$

2.5 Điều chỉnh bộ PID theo phương pháp di truyền

Hàm mục tiêu: Là hàm dùng để đánh giá các lời giải của bài toán, tùy vào từng bài toán mà hàm mục tiêu khác nhau. Do yêu cầu mong muốn là tối thiểu hoá sai số $e(t)$ ngõ ra nên hàm mục tiêu có thể chọn như sau: [5]

$$Fitness = \int_0^{+\infty} |e(t)| dt$$



Hình 3. Cấu trúc bộ điều khiển PID-GA và PID-PSO

Trong giải thuật GA thì mỗi phần tử sẽ chứa 3 tham số K_p , K_i và K_d từ đó ta sẽ có lưu đồ giải thuật của hệ thống điều khiển PID-GA như sau:

- Step 1:** Khởi tạo quần thể ngẫu nhiên ban đầu gồm K_p , K_i và K_d .
- Step 2:** Thiết lập PID và mô phỏng hệ vòng kín để xác định sai số $e(t)$.
- Step 3:** Ước lượng giá trị hàm mục tiêu.
- Step 4:** Kiểm tra hội tụ
- Step 4.1:** Nếu đã hội tụ thì lưu giá trị K_p , K_i và K_d
- Step 4.1.1:** Kết thúc vòng lặp
- Step 4.2:** Nếu chưa hội tụ
- Step 4.2.1:** Chọn lọc
- Step 4.2.2:** Lai tạo
- Step 4.2.3:** Đột biến
- Step 5:** Sinh thế hệ mới.
- Step 6:** Lặp lại bước 2 cho đến khi hội tụ.

2.6 Điều chỉnh bộ PID theo phương pháp bầy đàn

Trong thuật giải PSO thì mỗi phần tử sẽ chứa 3 tham số K_p , K_i và K_d điều đó có nghĩa là không gian tìm kiếm là 3 tham số trên, từ đó ta sẽ có lưu đồ giải thuật của hệ thống điều khiển PSO-PID như sau: [2], [5]

- Step 1:** Khởi tạo cho mỗi cá thể thứ i trong quần thể:
- Step 1.1:** Khởi tạo giá trị vị trí (X_i^k) cho từng cá thể trong quần thể với giá trị vị trí ngẫu nhiên.
- Step 1.2:** Khởi tạo giá trị vận tốc V_i^k .
- Step 2:** Chạy mô hình
- Step 2.1:** Chạy mô hình điều khiển với những tham số đã thiết lập trước.
- Step 2.2:** Tìm tham số K_p , K_i và K_d của bộ PID.
- Step 2.3:** Tìm hàm mục tiêu.
- Step 2.4:** Đánh giá hàm vị trí X_i^k theo giá trị hàm mục tiêu (fitness).
- Step 3:** Cập nhật lại giá trị vị trí và vận tốc cho từng cá thể:
- Step 3.1:** Cập nhật giá trị vận tốc và vị trí theo công thức (5) và (6).
- Step 3.2:** Đánh giá hàm mục tiêu (fitness)
- Step 3.3:** Nếu $fitness < P_{best_fitness}$ thì $P_{best} = X_i^k$, $P_{best_fitness} = fitness$.
- Step 3.4:** Cập nhật giá trị G_{best} cho từng cá thể tương ứng với vị trí nhỏ nhất hiện tại của hàm mục tiêu trong quần thể.
- Step 4:** Tìm giá trị phần tử mới

Nếu giá trị của phần tử mới tốt hơn giá trị tốt nhất của phần tử trước đó trong bầy đàn, thì thay thế giá trị tốt nhất trước đó bằng giá trị mới hiện tại.

Step 5: Lập lại bước 2 cho đến khi đã đủ số lần lặp.

Mục tiêu của phương pháp hiệu chỉnh PID dùng giải thuật PSO là:

Cực tiểu hoá hàm mục tiêu.

Tim được bước đáp ứng của hệ thống và làm giảm sai số

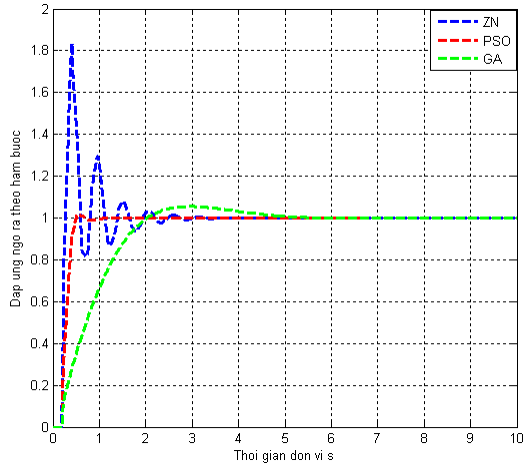
Lập lại các bước thực hiện cho đến khi đủ số bước lặp lại.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.1 Mô hình quán tính bậc nhất có thời gian trễ (FOPDT)

Hàm truyền tổng quát được xác định bởi phương trình (1).

Trong đó: Hệ số khuếch đại $K=1$; Hệ số $T_P=1$ và thời gian trễ $L_P=0,2$.



Hình 3. Đáp ứng ngõ ra của hàm FOPDT

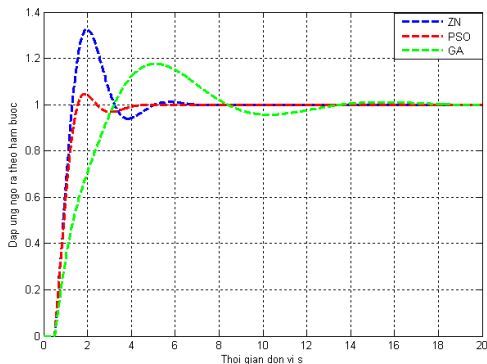
Bảng 1. Tham số bộ điều khiển PID

Phương pháp	K_P	K_I	K_D
ZN-PID ^[7]	6	15	0.6
GA-PID ^[7]	0.94	1.4030	0.1034
PSO-PID	3.6193	3.3811	0.2213

Bảng 2. Đáp ứng ngõ ra của hàm FOPDT

Phương pháp	% POT	$t_r(S)$	$t_{\Delta}(S)$	Fitness
ZN-PID	84.5	0.27	3.5	0.5166
GA-PID	5.52	2.0	4.5	0.5007
PSO-PID	2.0	0.5	1.4	0.3001

3.2 Mô hình quán tính bậc hai có thời gian trễ (SOPDT)



Hình 4. Đáp ứng ngõ ra của hàm SOPDT

Hàm truyền tổng quát được xác định bởi phương trình (2). Trong đó: Hệ số khuếch đại $K=1$; Hệ số $T_P=1$ và thời gian trễ $L_P=0,5$.

Bảng 3. Tham số bộ điều khiển PID

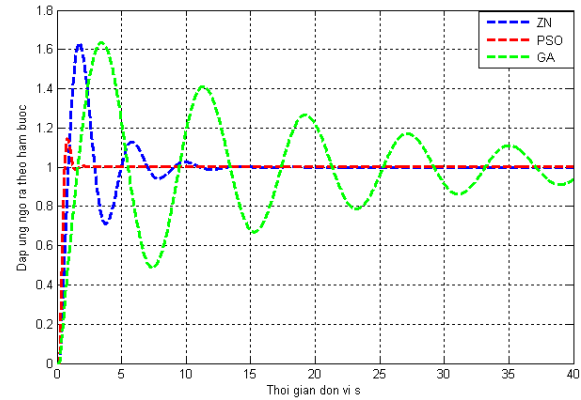
Phương pháp	K_P	K_I	K_D
ZN-PID ^[7]	2.82	1.7091	1.1562
GA-PID ^[7]	0.87	0.9158	0.7917
PSO-PID	2.2097	1.0447	1.2358

Bảng 4. Đáp ứng ngõ ra của hàm SOPDT

Phương pháp	% POT	$t_r(S)$	$t_{\Delta}(S)$	Fitness
ZN-PID	32.62	1.35	8.8	1.3601
GA-PID	17.7	3.25	13.5	2.2649
PSO-PID	4.56	1.60	4.8	1.0102

3.3 Mô hình tích phân bậc hai có thời gian trễ (SOIPDT)

Hàm truyền tổng quát được xác định bởi phương trình (3). Trong đó: Hệ số khuếch đại $K=1$; Hệ số $T_P=1$ và thời gian trễ $L_P=0,2$.



Hình 5. Đáp ứng ngõ ra của hàm SOIPDT

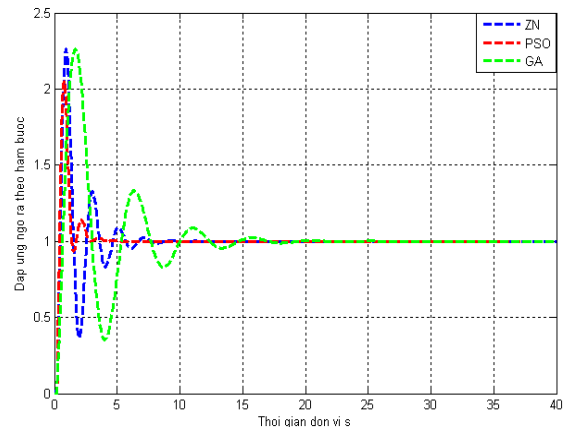
Bảng 5. Tham số bộ điều khiển PID

Phương pháp	K_P	K_I	K_D
ZN-PID ^[7]	3.108	2.1434	1.1266
GA-PID ^[7]	0.9	0.9574	0.774
PSO-PID	3.0734	0.0127	2.9288

Bảng 6. Đáp ứng ngõ ra của hàm SOIPDT

Phương pháp	% POT	$t_r(S)$	$t_{\Delta}(S)$	Fitness
ZN-PID	63.21	0.9	21.3	2.034
GA-PID	63.6	2.0	40.0	8.053
PSO-PID	14.6	0.59	1.82	0.496

3.4 Mô hình bậc nhất không ổn định có thời gian trễ (FODUP)



Hình 6. Đáp ứng ngõ ra của hàm FODUP

Hàm truyền tổng quát được xác định bởi phương trình (4). Trong đó: Hệ số khuếch đại $K=1$; Hệ số $T_P=1$ và thời gian trễ $L_P=0,2$.

Bảng 7. Tham số bộ điều khiển PID

Phương pháp	K_P	K_I	K_D
ZN-PID ^[7]	3.01	4.324	0
GA-PID ^[7]	0.97	1.141	0
PSO-PID	3.97	2.8285	0

Bảng 8. Đáp ứng ngõ ra của hàm FODUP

Phương pháp	% POT	t_r (S)	t_u (S)	Fitness
ZN-PID	126.27	0.45	8.8	2.0388
GA-PID	126.27	0.66	19.4	4.2497
PSO-PID	104.82	0.44	4.1	1.0069

Kết quả mô phỏng của 4 mô hình tiêu biểu trong công nghiệp được trình bày ở trên cho ta thấy các thông số hiệu chỉnh PID bằng thuật toán PSO cho ta kết quả tốt hơn: Độ vọt lố, thời gian đáp ứng, thời gian xác lập và giá trị hàm mục tiêu đều nhỏ hơn so với phương pháp ZN và GA.

3.5 Mô phỏng động cơ không đồng bộ ba pha

3.5.1 Thông số của động cơ khi chạy bằng

Matlab/Simulink

Các thông số mô phỏng được cho như sau:

$R_s = 1,723$ (Ohm): Điện trở stator

$R_r = 2,001$ (Ohm): Điện trở rotor

$L_s = 0,1666$ (H): Điện cảm stator

$L_r = 0,169$ (H): Điện cảm rotor

$L_m = 0,1592$ (H): Điện cảm hỗ cảm

$p = 2$: Số đôi cực

$J = 0,001$ (Kg.m²): Moment quán tính

$w_{ref} = 200$ (rad/s): Tốc độ đặt

$U_{1dm} = 220$ (V): Điện áp định mức

$I_{1dm} = 2,73$ (A): Dòng điện định mức

$I_{max} = 7$ (A): Dòng điện lớn nhất

$M_{max} = 14,8$ (Nm): Moment lớn nhất

$P = 5$ HP: Công suất của động cơ

$U_{dc} = 400$ (V): Điện áp DC giới hạn

$f = 50$ (Hz): Tần số

$n = 80$: Số lượng bầy đàn

$bird_setp = 7$: Số bước lặp

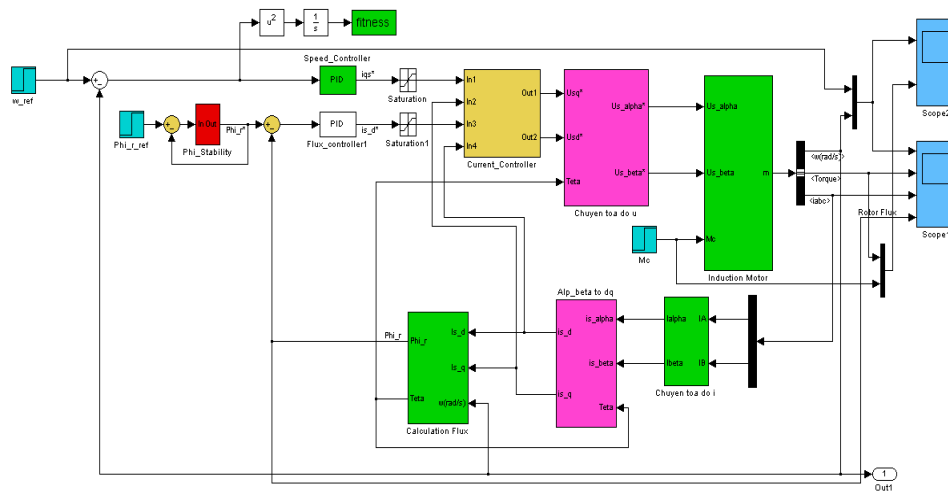
$dim = 2$: Không gian tìm kiếm là 2 phần tử K_P và K_I

$w = 0.9$: Trọng số quán tính

$c1 = 0.12$: Hằng số gia tốc $c1$

$c2 = 1.2$: Hằng số gia tốc $c2$

3.5.2 Sơ đồ mô phỏng trên Matlab



Hình 7. Sơ đồ mô phỏng trên Matlab

3.5.3 Động cơ khởi động không tải

Đáp ứng của động cơ:

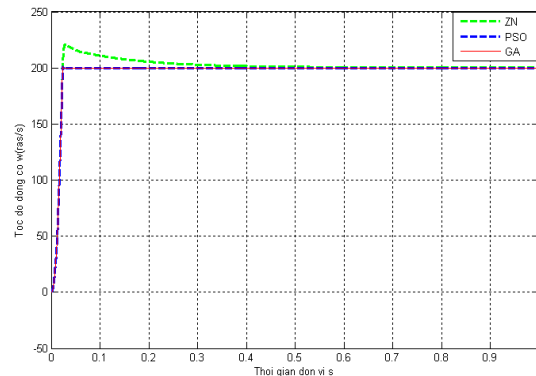
- + Tốc độ đặt 200 (rad/s), thời gian mô phỏng từ 0 đến 1s. ($t = 0 \rightarrow 1s : w_{ref} = 200(\text{rad} / s)$)
- + Từ thông đặt là 0.5 (wb), thời gian mô phỏng từ 0 đến 1s. ($t = 0 \rightarrow 1s : F_i_{ref} = 0.5$).
- + Moment tải đặt là 0 (Nm), thời gian mô phỏng từ 0 đến 1s. ($t = 0 \rightarrow 1s : M_c = 0$).

Bảng 9. Tham số bộ điều khiển PID

Phương pháp	K_P	K_I
ZN-PID ^[4]	0.187	1.483
GA-PID ^[3]	13.1027	0.0948
PSO-PID	16.8048	0.1820

Bảng 10. Đáp ứng tốc độ của động cơ

Phương pháp	% POT	t_r (S)	t_u (S)	Fitness
ZN-PID	10.4	0.021	0.550	6.092
GA-PID	0.60	0.021	0.025	3.19
PSO-PID	0.59	0.021	0.024	3.18



Hình 8. Đáp ứng tốc độ của động cơ

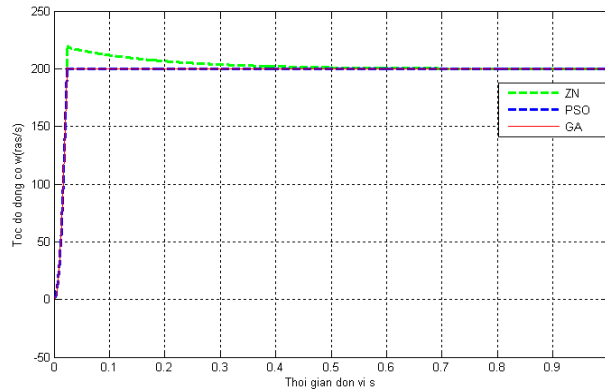
3.5.4 Động cơ khởi động không tải, sau đó đóng tải

Đáp ứng của động cơ:

- + Tốc độ đặt 200 (rad/s), thời gian mô phỏng từ 0 đến 1s. ($t = 0 \rightarrow 1s : w_{ref} = 200(\text{rad} / s)$)
- + Từ thông đặt là 0.5 (wb), thời gian mô phỏng từ 0 đến 1s. ($t = 0 \rightarrow 1s : F_i_{ref} = 0.5$).

+ Tại thời điểm từ 0 đến 0.5s thì moment tải đặt là 0 (Nm), sau đó đóng tải với moment tải là 5 (Nm) ở thời điểm 0.5 đến 1s.

($t = 0 \rightarrow 0.5s : Mc = 0 ; t = 0.5 \rightarrow 1s : Mc = 5(Nm)$).



Hình 9. Đáp ứng tốc độ của động cơ

Bảng 11. Tham số bộ điều khiển PID

Phương pháp	K_P	K_I
ZN-PID ^[4]	6.76	40
GA-PID ^[3]	13.5	0.09
PSO-PID	68.31	0.049

Bảng 12. Đáp ứng tốc độ của động cơ

Phương pháp	% POT	$t_r(S)$	$t_{sl}(S)$	Fitness
ZN-PID	10	0.021	0.45	6.26
GA-PID	0.60	0.021	0.025	3.27
PSO-PID	0.53	0.021	0.024	3.19

4. KẾT LUẬN

Bài báo này đã sử dụng phương pháp hiệu chỉnh PID cổ điển (ZN), giải thuật di truyền (GA) và bầy đàn (PSO) cho các mô hình toán cơ bản trong công nghiệp và điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha. Kết quả mô phỏng trên Matlab/Simulink cho thấy điều khiển PID với những tham số được xác định bằng giải thuật bầy đàn thì hoạt động tốt hơn phương pháp ZN và GA:

- Đáp ứng ngõ ra đạt hiệu suất cao cho cả 4 mô hình cơ bản trong công nghiệp: FOPDT, SOPDT, SOIPDT và FODUP.
- Đối với động cơ 3 pha: Thời gian đáp ứng tốc độ và thời gian xác lập nhanh khoảng 0.021s, độ vọt lố nhỏ 0.59%. Vì thế trong quá trình mở máy thời gian mở máy nhanh.
- Trong quá trình hoạt động của động cơ, ở những thời điểm thay đổi tải, độ vọt lố cũng như độ sụt dốc ở các đại lượng là không đáng kể.
- Động cơ có thể hoạt động ở nhiều dải tốc độ khác nhau. Điều khiển chính xác tốc độ động cơ với sai số nhỏ.

Đáp ứng tốc độ động cơ giữa phương pháp GA-PID và PSO-PID đều tốt giống nhau là do mô hình toán của động cơ có các hàm giới hạn dòng điện tối đa 7A làm cho quá trình đáp ứng của động cơ không khác nhau nhiều. Tuy nhiên dựa vào độ vọt lố và giá trị hàm mục tiêu từ kết quả mô phỏng ta có thể kết luận phương pháp PSO-PID tốt hơn GA-PID.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Tấn Khang, “Ứng dụng thuật giải di truyền (GA) để xác định thông số bộ PID trong điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha” Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, trang 67-72, 2011.
- [2] Huỳnh Đức Chấn, “Ứng dụng thuật giải bầy đàn (PSO) để xác định thông số bộ PID trong điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha” Hội nghị VCCA- 2011.
- [3] Johnson M.A. and M.H. MoradiM, “PID Control - New Identification and Design Methods” pp. 297-337. Springer-Verlag London Limited. ISBN-10: 1-85233-702-8, 2005.
- [4] N. Pillay, “A Particle swarm optimization approach for tuning of SISO PID control loops”, Durban university of technology department of electronic engineering pp. 95-121, 2008
- [5] Boumediene Allaoua Brahim GASBAOUI and Brahim MEBARKI, “Setting Up PID DC Motor Speed Control Alteration Parameters Using Particle SwarmOptimization”Strategy, Bechar University Departement of Electrical Engineering B.P 417 BECHAR (08000) Algeria, pp. 19-32, 2009.
- [6] Chao Ou, Weixing Lin, “Comparison between PSO and GA for Parameters Optimization of PID Controller”, The Faculty of Information Science and Technology University of NingBo University of NingBo, pp. 2471-2475, 2006.
- [7] Astrom, K.J. and T. Hagglund, “Automatic Tuning of PID Controllers. Instrument Society of America, Research Triangle Park” NC, 1988.

TIỂU SỬ TÁC GIẢ



Huỳnh Đức Chấn

Sinh năm 1982. Anh nhận bằng Kỹ sư Điện- Điện tử tại trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM năm 2006, bằng Thạc sỹ Kỹ thuật Điện tử năm 2011 tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM. Hiện anh đang là Giảng viên Khoa Cơ điện- Điện tử, Trường Đại học Lạc Hồng, Đồng Nai. Hướng nghiên cứu chính là áp dụng kỹ thuật tính toán mềm trong xây dựng mô hình và điều khiển.



Đào Hồng Phong

Sinh năm 1981. Anh nhận bằng kỹ sư Điện tử viễn thông tại Trường Đại học Lạc Hồng năm 2006, bằng Thạc sỹ Kỹ thuật Điện tử năm 2012 tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM Hiện anh là nhân viên quản lý phòng thí nghiệm Đo lường – Kiểm định. Lĩnh vực nghiên cứu: Kỹ thuật điều khiển thông minh xử lý ảnh.



Nguyễn Ngọc Tuấn

Sinh năm 1987. Anh nhận bằng Kỹ sư Cơ Điện tử tại trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM năm 2011, Hiện anh đang là học viên cao học tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM.